

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

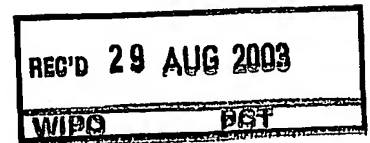
14.07.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日      2 0 0 2 年   7 月 1 3 日  
Date of Application:

出 願 番 号      特 願 2 0 0 2 - 2 3 7 2 1 2  
Application Number:  
[ST. 10/C]:      [J P 2 0 0 2 - 2 3 7 2 1 2]



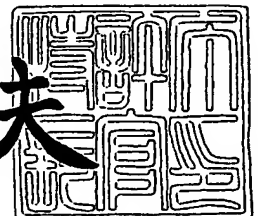
出 願 人      有限会社オートクロニング・テクノロジー  
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 3 年   8 月 1 5 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 PHC-POLARI

【提出日】 平成14年 7月15日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01J 4/04  
G01N 21/21

【発明の名称】 偏光制御素子アレイおよびそれを用いた偏光解析装置

【請求項の数】 8

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市若林区土樋 2 3 6 番地 愛宕橋マンション  
ファラオ C-0 9

【氏名】 川上 彰二郎

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市太白区富沢南 1-2-5 ボナール富沢 3  
0 2

【氏名】 佐藤 尚

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県宮城郡七ヶ浜町汐見台南 2-21-8

【氏名】 石川 理

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市若林区南小泉 3-2-11 グレースコー  
ト S102

【氏名】 川嶋 貴之

## 【特許出願人】

【識別番号】 599042599  
【住所又は居所】 宮城県仙台市若林区土樋 2 3 6 番地 愛宕橋マンション  
ファラオ C-9  
【氏名又は名称】 有限会社オートクロニング・テクノロジー  
【代表者】 代表取締役 上野 祥一  
【電話番号】 022(223)4883

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1

【書類名】 明細書

【発明の名称】 アレイ状偏光子、波長板、およびそれを用いた偏光解析装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 直交座標系  $x$ 、 $y$ 、 $z$  において、 $xy$  面に平行な基板の上に2種以上の透明材料を  $z$  方向に交互に積層した多層構造体であって、 $xy$  面内において少なくとも3つの領域に分かれており、各層は領域毎に定まる  $xy$  面内の一方向に繰り返される1次元周期的な凹凸形状を有し、基板に対して平行ではない方向から入射される光に対して、各領域の凹凸形状に平行または垂直方向の偏波成分だけを透過させることを特長とする偏光子アレイ

【請求項2】 請求項1に記載の偏光子アレイであって、 $xy$  面内の各領域の一辺もしくは直径の大きさが  $500\mu\text{m}$  より小さいことを特長とする偏光子アレイ

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の偏光子アレイにおいて、凹凸形状が  $x$  軸に対して、 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  の方向である領域を少なくとも一つづつ有することを特長とする偏光子アレイ

【請求項4】 請求項1または請求項2または請求項3に記載の偏光子アレイと、それぞれの領域を透過した光を独立に受光することのできる受光素子アレイとを組み合わせた偏光モニター

【請求項5】 直交座標系  $x$ 、 $y$ 、 $z$  において、 $xy$  面に平行な基板の上に2種以上の透明材料を  $z$  方向に交互に積層した多層構造体であって、 $xy$  面内において少なくとも2つの領域に分かれており、少なくとも一つの領域では各層が  $x$  軸方向に平行な1次元周期的な凹凸形状を有しており、他の少なくとも一つの領域では各層は平坦であり、基板に対して平行ではない方向から入射され、1次元周期的な凹凸形状を有する領域を透過した光に対してのみ、直交する偏波成分間で位相差を与えることを特長とする波長板

【請求項6】 請求項3に記載の偏光子アレイと請求項5に記載の波長板とを、当該偏光子アレイの凹凸形状が  $45^\circ$  の領域と、当該波長板領域とが共通の光路となるように合わせた構造であり、位相板側から光を入射し、偏光子の各領域を透過した光を独立に受光することのできる受光素子アレイを有することを特長とす

## る偏光モニター

【請求項 7】 請求項 6 に記載の偏光モニターであって、受光素子アレイがフォトディテクタ、CCD、撮像管であることを特長とする偏光モニター

【請求項 8】 請求項 7 記載の偏光モニターとビームスプリッターとからなるインライン型偏光モニター

## 【発明の詳細な説明】

### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、周期や方位が異なる微小領域からなる偏光子や波長板のアレイ、およびそれを用いた偏光モニターに関するものである。

### 【0002】

#### 【従来の技術】

偏光制御素子の一つである偏光子は、不特定の方向に電磁界が振動する無偏光または楕円偏光を、ある特定方向の振動成分だけを透過させて直線偏光にするための素子である。これは光素子の中でも最も基本的なものであって、光通信デバイス、光ディスクのピックアップ、液晶ディスプレイ、光応用計測などに広く利用されている。偏光子は、動作形態によって、①不要な偏波を吸収させるもの、②同一の光路で入射する直交する二つの偏波成分を別々の光路に分けるもの、の二つに大別される。

現在実用に供されている偏光子で、上記①の動作をするものは高分子フィルムにヨウ素などの二色性分子を入れたもの、針状金属粒子を一方向に配置させたガラスなどがある。他方、上記②のタイプの偏光子には、方解石など複屈折率の大きい材料で作られた偏光プリズムがある。

### 【0003】

もう一つの偏光制御素子は、偏波により遅延を与える位相板である。即ち、方位により屈折率の異なる異方性材料が用いられる。一般的には、水晶やルチルなどの異方性結晶、ポリイミドを延伸したフィルムが用いられている。

### 【0004】

上に挙げたいずれも、開口面内で偏光子あるいは波長板としての特性は作製誤

差の範囲で均一である。即ち、動作する波長、光軸は開口面の中で一様である。これは製法上、異方性の単結晶材料を研磨する、あるいはフィルムやガラスを一方方向に引き伸ばすため、ミリメートルからセンチメートル以上の大きさのものしか作ることができないからである。個別の素子を微細なサイズに切り出して、軸を変えて貼り合わせることも可能ではあるが、一つの素子の面積を小さくすること、素子の数を多くすることには限界がある。また、微細なチップの軸を正確に合わせることも困難である。

#### 【0005】

最近、リソグラフィ技術を駆使することで微小な偏光制御素子をアレイ配置させる手法が報告されている。

例えば金属膜にラインアンドスペースを加工して偏光子が形成されている。ラインの方向の偏波が吸収され、それに垂直方向の偏波が透過する。したがって、微小領域で光軸を変えることは可能であるが、そもそも偏光子としての性能は十分高くない。例えば、波長 633 nm において消光比 10 dB が報告されている（2000 年応用物理学会春季全国大会 31a-W-2）。この理由は、挿入損失を下げるためには金属ラインの幅を無限に小さくすることが必要であり、また、高い消光比を得るためには極めて高いアスペクト比が必要となるからである。

また同様に、透明材料のラインアンドスペースにより、波長板が形成される。しかし溝の深さが位相差に直接影響するので、アスペクト比の高い溝を再現性高く加工することは困難である。また、一度のプロセスで加工される溝の深さは領域毎に変えることはできないので、位相差は場所に対して一定である。即ち  $1/4$  波長板と  $1/2$  波長板を同時に形成することはできない。また位相板と偏光子を組み合わせたアレイを作ることはできない。

#### 【0006】

以上のことから、光軸や動作波長が異なる偏光子や波長板を複数組み合わせる場合には、光ビームを分岐し、個別の素子を用いるなど装置が大型になっていた。特に従来の偏光モニターでは、図 3 のように、光ビームスプリッターを 3 つ以上使うなど、部品点数が多く、装置が複雑で、高精度な軸合わせが必要となっていた。また、偏光子アレイ（あるいは偏光子アレイと波長板アレイ）を CCD カ

メラなどに搭載し偏光画像解析を行なうことは、偏光子の消光比が高くないなど特性が不十分であること、生産性が低いなどの理由で実現されていなかった。

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

本発明は上記の問題点を解決するために、多層膜スパッタ形成法（自己クローニング法）に基づいたフォトリソグラフィ結晶を利用することで、高性能な偏光子や位相板を方位や波長特性が異なる微小アレイとして形成すること、およびそれを利用した簡単な構成の偏光モニターを提供することを課題とする。

#### 【0008】

##### 【課題を解決するための手段】

偏光子の概要はすでに述べたが、最近になって、これまでとは全く異なるタイプのフォトリソグラフィ結晶偏光子（特開2000-56133）やフォトリソグラフィ結晶複屈折率材料（特開2000-51122）。が開発され、その可能性が多方面から注目を集めている。これらのフォトリソグラフィ結晶偏光制御素子の概念を説明すると、図1のような周期的な溝列を形成したガラス基板101上に、透明で高屈折率の媒質102と低屈折率の媒質103とを界面の形状を保存しながら、交互に積層する。各層はx方向とz方向に周期性があるが、y方向は一様であってもよいし、x軸方向より大きい長さの周期的または非周期的な構造を有していてもよい。

#### 【0009】

このようにして得られた周期構造体にz方向から無偏波光または楕円偏光を入射すると、溝列と平行な偏波即ちy偏波と、それに直交するx偏波とに対して、TEモードまたはTMモードの光がそれぞれ周期構造体の内部に励起される。図2は、高屈折率材料102をSi、低屈折率材料103をSiO<sub>2</sub>とした場合の、伝搬特性を表わすバンド図である。横軸は伝搬定数を表わし、z方向に1周期伝搬するときの位相変化量を $\pi$ で規格化した値と一致する。縦軸はz方向の周期で規格化した波長の逆数を示す。入射する光の周波数が、バンドギャップの中にあれば、そのモードは周期構造体の中で伝搬することができず、入射光は反射または回折される。一方、光の周波数がエネルギーバンド内にあれば、周期構造体

の中を光は透過する。図2によると、TEモードがバンドギャップ内にあり、TMモードがエネルギーバンド内に存在する周波数領域201、TEモードがエネルギーバンド内にあり、TMモードがバンドギャップ内に存在する周波数領域202、両方のモードがエネルギーバンド内にある周波数領域203がある。201と202の周波数帯では、反射型の偏光子もしくは偏光分離素子として動作し、203の場合は波長板として動作する。

#### 【0010】

当該フォトリソグラフィ結晶からなる偏光子や波長板は、構成する材料の屈折率、充填率、溝列の周期 $L_x$ 、積層方向の周期 $L_z$ を調整することで、動作波長域を自由に設定することができる。低屈折率媒質としては $SiO_2$ を主成分とする材料が最も一般的であり、透明波長領域が広く、化学的、熱的、機械的にも安定であり、成膜も容易に行なえる。しかしながらその他の光学ガラスでもよく、 $MgF_2$ のようにより屈折率の低い材料を用いてもよい。高屈折率材料としては、 $Si$ 、 $Ge$ などの半導体や、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $Nb_2O_5$ 、 $HfO$ 、 $Si_3N_4$ などの酸化物や窒化物が使用でき、透明波長範囲が広く、可視光領域でも使用できる。一方、半導体は、近赤外域に限定されるが、屈折率が大きい利点がある。

#### 【0011】

作製方法は、まず、図1に示すように、石英ガラス基板上に電子ビームリソグラフィとドライエッチングにより周期的な溝を形成する。この基板上に、 $SiO_2$ および $Si$ のターゲットを用い、バイアス・スパッタリング法（あるいはスパッタ成膜とスパッタエッチングを組み合わせたプロセス）により、 $SiO_2$ 層と $Si$ 層を交互に積層する。そのとき、各層の $x$ 軸方向に周期的な凹凸の形状を保存しながら成膜を行なうことが肝要である。これは自己クローニング技術（特開平10-335758）と呼ばれており、再現性、均一性が高く、工業的に微細な周期構造（フォトリソグラフィ結晶）を作製する優れた手法である。基板の上に規則的な積層構造が生成される理由は、①ターゲットからの中性粒子の分散入射による堆積、② $Ar$ イオンの垂直入射によるスパッタエッチング、それと、③堆積粒子の再付着の3つの作用の重ね合わせによって説明することができる。



## 【0012】

図1の構造体が偏光子として動作するのは、図2における201と202の周波数領域である。本構造の偏光子の特長は、透過光の消光比が高い、薄型軽量、任意の基板に形成可能、などが挙げられる。これまで数値シミュレーションと実験により、特に高周波数側の201の領域を利用したもので、高い消光比50dBを少ない積層数10周期で実現している。

また、図1のような構造体で材料や周期構造の単位セルの形や周期を選ぶことによって、波長領域203を利用する波長板を実現できる。溝に平行な偏光であるTE波も、溝に垂直なTM波も伝搬するが、その伝搬定数が異なるために、位相差をもたせるものである。高周波数側で設計する場合、一周周期あたりの位相差が大きいため、少ない周期で所望の位相差を実現できること、面内の周期が比較的大きいので、短波長で使う場合でも加工精度が厳しくならない、という利点がある。一方、低周波数側で設計する場合は、より高精度の位相差制御を行なうのに適している。動作させる波長帯、求められる特性などから設計することが重要である。

## 【0013】

上述した偏光子および位相板の開口面積や方位は、はじめに基板に加工する溝パターンの大きさや方向で自由に設計することができる。パターン形成は、電子ビームリソグラフィ、フォトリソグラフィ、干渉露光法、ナノプリンティングなど様々な方法で行なうことができる。いずれの場合でも、微小領域ごとに溝の方向を高精度に定めることができる。そのため、方位の異なる微小偏光子アレイあるいは微小位相板アレイを形成することが可能となる。また、凹凸パターンを持つ特定の領域のみが偏光子や位相板の動作をするため、その周辺の領域を平坦あるいは、面内で等方的な凹凸パターンにしておけば偏波依存性のない媒質として光は透過する。従って、特定の領域にのみ偏光子や位相板を作りこむことができる。

さらに、図1の構造体は面内の凹凸パターンの周期を変えることにより、積層の周期が一定であっても、伝搬特性は異なる。従って、領域毎に面内の周期を変えることでも、光軸や波長特性の異なる偏波制御素子（偏光子や波長板）のアレ

イを作製することができる。

#### 【0014】

##### 【実施例】

##### 【実施例1】

実施例1では、自己クローニング型フォトニック結晶からなり光軸方向が異なる微小偏光子アレイと1/4波長板、および受光素子アレイからなる偏光解析装置について説明する。これは光通信の信号光の偏波を制御する際に使用することのできる偏波モニターである。

はじめに図4に示す偏光子アレイ401から説明する。偏光子は図1の構造からなり、SiとSiO<sub>2</sub>の交互多層膜からなる。xy面内は4つの領域に分かれている。各領域で各膜は凹凸形状を有しており、領域毎に定まるxy面内の一つの方向に周期的に繰り返されている。第一の領域402は溝の方向はx軸に対して0°であり、第二の領域403は90°、第三と第四の領域404、405は45°となっている。但し、配列は限定されるものではなく、自由に配置することができる。例えば、2つの45°の領域404と405が隣り合っている場合もある。

#### 【0015】

それぞれの領域は、先に述べたフォトニック結晶偏光子として動作する。ここで動作波長は光通信用として1.55μmとする。面内の周期は0.5μm、積層周期は0.63μmである。SiとSiO<sub>2</sub>の膜厚比は4:6である。それぞれの大きさは200μm角である。積層周期は12周期で、波長1.55μmにおいて、消光比は45dB以上、挿入損失は0.15dB以下である。

しかしながら、材料の選定や構造パラメータの選定には自由度がある。例えば、高屈折率材料としては、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>でもよく、低屈折率としてはパイレックスガラス、MgF<sub>2</sub>、その他光学ガラスでもよい。動作波長が赤外であれば高屈折率材料としてGe、SiGeなどを使うこともできる。また、膜厚比、面内周期、積層周期、斜面の角度に各偏波の分散関係は依存し、偏光子として動作する波長帯が変化する。従って、所望の波長帯によって、最適なパラメータが異なる。

## 【0016】

図5は、上述の偏光子アレイ401に、波長板501と受光素子アレイ502を組み合わせた偏波モニターの概念図である。

波長板は、1/4波長板動作をする領域503と、位相差が生じない領域504からなる。波長板動作をする領域は、図1の構造のフォトニック結晶からなる。即ち、膜はx軸に平行な凹凸形状を有しており、y軸方向に繰り返される。位相板として動作しない領域504は、平坦な多層膜である。ここで、溝の周期は $0.52\mu\text{m}$ とした。膜の材料は $\text{Ta}_2\text{O}_5$ と $\text{SiO}_2$ であり、膜厚比は4:6、積層周期は $0.62\mu\text{m}$ であった。従って、基板には503の領域にのみ凹凸形状を加工しておけばよい。

ここで波長板として動作させない部分は、平坦としたが、等方的な周期パターンをもつ凹凸形状であってもよい。また、手間はかかるが、一端1/4波長板領域を一面に加工してから、必要部分だけをエッチングで除去しても良い。

偏光子アレイと波長板を作製したのち、偏光子の軸が $45^\circ$ の領域405と、1/4波長板領域503とが重なるように貼りつける。ここで、それぞれの基板の膜面が上側になるように貼り合わせても良いが、膜側の面を合わせるように重ねても良い。

## 【0017】

図6は、偏光子アレイと波長板を一体化させるもう一つの例を示す。偏光子をなす多層膜601を積層した後、最終層（ここでは $\text{SiO}_2$ 層）602をやや厚く積層する。そのとき、スパッタエッチングを強く作用させると、表面に形成されていた凹凸パターンは消滅し、平らになる。機械的な研磨を用いても特段問題はない。その後、再度リソグラフィで波長板を形成する部分にのみラインアンドスペースの凹凸パターンを形成する。パターンの位置合わせには、予め基板の一部に位置決め用のマーカーをつけておけばよい。その後、波長板を形成するための多層膜603を積層すればよい。このようにして偏光子アレイと波長板を一体形成ができる。

あるいは、各領域の大きさが比較的大きい場合、図7のように1/4波長板については、従来の異方性結晶からなる個別の素子701を貼り合わせても良い。

図5に示した偏光モニターは、偏光子アレイと波長板を一体化させたのち、偏光子の4つの領域を透過した光を独立に受光することのできる受光素子アレイを偏光子の裏面に設置する。各受光素子で光強度を測定する。受光素子はここではフォトディテクタとする。これらは1枚の基板の上に、 $200\mu\text{m}$ の開口で4つ設置されている。この大きさは、入射する光ビームの径によって、受光パワーを十分とれるように、より大きくても小さくても構わない。

### 【0018】

これにより、光の偏波状態を表わすストークスパラメータを求めることができ、偏光度を含めた完全な偏光解析を行うことができる。即ち、4つのストークスパラメータ $S_0 \sim S_3$ は、 $x$ 偏波成分 $I_x$ 、 $y$ 偏波成分 $I_y$ 、 $45^\circ$ の偏波成分 $I_{45^\circ}$ 、 $x$ 軸方向に光軸を有する $1/4$ 波長板を通過した後の $45^\circ$ の偏波成分 $I_{Q, 45^\circ}$ の4つの光強度を用いると以下のように表わされる。

$$S_0 = I_x + I_y$$

$$S_1 = I_x - I_y$$

$$S_2 = 2I_{45^\circ} - (I_x + I_y)$$

$$S_3 = 2I_{Q, 45^\circ} - (I_x + I_y)$$

従って、偏光子402を透過した光パワーが $I_x$ 、偏光子403を透過した光パワーが $I_y$ 、偏光子404を透過した光パワーが $I_{45^\circ}$ 、波長板と偏光子405を透過した光が $I_{Q, 45^\circ}$ となる。これらの測定値からストークスパラメータを求めることができる。

### 【0019】

この偏波モニターを伝送線路に組み込む例を図8から図11に示す。

図8は、光ビームの分岐にビームスプリッタ801を用いた例である。分岐した光を、図5などで示した偏光子アレイ、波長板、受光素子アレイからなる偏光モニター802に導く。メインの光ビームが軸ずれなく伝搬する。ここでビームスプリッタはできるだけ偏波依存性がないものが適している。しかしながら、一般のビームスプリッタでは、広い波長範囲では偏波依存性が生じる場合がある。その場合には次の構成が良い。

### 【0020】

図9は、ビームスプリッタの偏波依存性を十分小さくする構成を示す。厚さ5mmの石英ガラス901をコリメートされた光ビームに入射角 $4^\circ$ となるように配置する。一般に光を斜めに入射した場合の反射率は偏波依存性がある。しかしながら、入射角が十分小さければその差は測定には問題にならない。例えば、空気からガラス基板（屈折率1.5）に入射する場合を考えると、入射角が $4^\circ$ の場合、反射率はS偏波（入射面に垂直偏波）で4.026%、P偏波（入射面に平行）で3.974%となり、その差は0.052%と十分小さい。

入射側の面には反射防止膜を形成し、裏面には反射率が例えば10%となるような膜902を形成する。反射膜の反射率は必要に応じて変える必要があり、また十分な反射率が得られれば反射膜がなくても良い。ガラス901に入射された光は、裏面で反射され、上述の波長板、偏光子、フォトディテクタを一体化した偏波モニター802に導かれる。一方、透過した光は、伝送路に戻される。偏波モニターはガラスから離しても良いが、密着されても良い。ここで4枚の偏光子の中心に光ビームが照射されるように、調整することが必要である。

#### 【0021】

図10はもう一つの構成例である。厚さ1mmの石英ガラス901の入射側にARコートをし、裏面に反射率が例えば90%のミラー902を形成する。裏面側に、波長板、偏光子、フォトディテクタからなる偏波モニター802を設置する。石英ガラスの裏面で反射した光が伝送線路に導かれる。この場合、ガラス基板が薄くてすむ利点がある。

#### 【0022】

図11はもう一つの構成例である。信号光は、平行に近接して置かれた2本の光ファイバ1101のうち1本から出射される。コリメートレンズ1102を通して、ガラス基板901に照射される。表面には誘電体ミラーからなる反射膜902が形成されており、一部の光パワーは反射され、残りは透過する。透過光は偏波モニター802に照射される。反射される光は再びレンズを通り、もう1本の光ファイバに結合される。このように、インライン型の偏波モニターを小型集積化が可能である。また、ガラス基板への入射角を小さくすることができるので、反射率の偏波依存性を小さくすることができるので適している。

図5では4つの偏光子領域をもつ構成を説明した。図8から図11で示したように、光ビームの中心が、4つの領域の中心に合うように調整する。しかしながら、ビームの位置変動がパワー変動となり、測定誤差になる。これを解決する方法は次の実施例で示すが、領域を細かく設定すれば良く、同じ偏波の光の受光強度を合計すれば、位置変動の誤差を低減することができる。

### 【0023】

#### 【実施例2】

実施例2では、自己クローニング型フォトニック結晶からなる、光軸方向が異なる微小偏光子アレイと、それを用いた偏光解析装置の例を示す。図12は微小偏光子アレイの概念図である。それぞれの偏光子の領域は図1に示すような、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ と $\text{SiO}_2$ の多層膜からなり、周期的な表面凹凸形状を有している。ここでは波長 $0.8\mu\text{m}$ 帯で動作するように、面内周期は $0.44\mu\text{m}$ 、積層周期は $0.44\mu\text{m}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ と $\text{SiO}_2$ の膜厚比は4:6とした。図1の構造体に光を垂直方向から入射したとき、溝に平行な偏光は反射され、透過方向には減衰され、その減衰率は15周期で30dB程度である。一方、溝に垂直な偏光は伝搬し、その透過損失は10周期で0.1dB以下である。

### 【0024】

偏光子アレイ1201の基板に形成する溝の方向は、図12のようにx軸に対して $0^\circ$ の領域1202、 $90^\circ$ の領域1203、 $45^\circ$ 領域1204の3種類を網の目状に形成しておく。配置の順序は特に限定されるものではなく、入れ替わっていても良い。ここで基板表面の溝形成は電子ビームリソグラフィと反応性エッチングを用いた。その他、フォトリソグラフィでもピッチに対して適した光の波長を選んでおけば形成可能である。微小領域の大きさは、 $50\mu\text{m}$ 角であるが、それよりも大きくても（例えば $1000\mu\text{m}$ 角）、小さくても（例えば $5\mu\text{m}$ 角）良い。また、正方形のパターンだけでなく、三角形、長方形、六角形など任意である。このように、領域毎に透過偏光方向の異なる偏光子アレイを形成できる。

### 【0025】

この偏光子アレイ1201を、図13に示すように、画素が同じ周期で配列さ

れた光受光素子アレイ 1301 の上に搭載することにより、偏光状態を測定する。光受光素子は、CCD、半導体フォトダイオードや撮像管でも良い。

CCD の場合では、一つの領域（画素）の大きさが数  $\mu\text{m}$  から数十  $\mu\text{m}$  であるので、微小偏光子アレイと組み合わせることで、高精度な画像情報として、光の偏光状態を観測できる。これは物質からの反射光や透過光、地表、水面などの反射光の偏波状態を観測することが可能である。例えばガラスや光ディスク、その他の構造物に光を透過あるいは反射させ、歪により誘起される複屈折率により偏波状態が変化する大きさを計測することも可能である。また、顕微鏡に組みこむことで、ミクロな偏波解析を行なうことも可能である。

#### 【0026】

図 13 の例では偏光子の方位は 3 種類であるが、凹凸の軸方向は  $0^\circ$  と  $90^\circ$  の 2 種類でも良いし、4 方向以上であっても良い。これらの場合は、楕円偏波（直線偏波を含む）の長軸方向を計測することはできるが、位相差や回転方向は観測できない。すなわち、縦の偏光と横の偏光のどちらの位相が進んでいるかを決めることができない。

実施例 1 で述べたように、すべてのストークスパラメータを求めるためには、 $1/4$  波長板を  $45^\circ$  の方位をもつ偏光子領域に重ねることが必要である。

#### 【0027】

図 14 は全てのストークスパラメータを測定できる、偏波モニターの概念図である。偏光子アレイでは、4 つの領域を一つの単位とする。第一の領域 1402 では、凹凸の軸方向は  $0^\circ$ 、第二の領域 1403 では  $90^\circ$ 、第三と第四の領域 1404 と 1405 では  $45^\circ$  とする。偏光子アレイの前段（光の入射側）に位相板アレイを置く。ただし、偏光子の第四の領域の上にだけ、凹凸パターンからなる  $1/4$  波長板の動作をする領域 1406 を合わせ、偏光子の第一から第三の領域の上には、波長板アレイは位相差を与えない構造 1407 とする。即ち、平坦な多層膜からなる偏波依存性のない構造とする。

#### 【0028】

次に当該偏波モニターの作製方法を述べる。偏光子アレイ 1401 の作製方法は基本的に先に述べた方法と同じである。但し、溝のパターンは 4 領域を一つの

単位とする。それぞれの大きさは  $40\ \mu\text{m}$  角とする。ただし、それ以上であってもそれ以下であっても良い。 $x$  軸に対する溝の方向（反射する偏波の方位）は、 $0^\circ$  の領域 1402、 $90^\circ$  の領域 1403 を各 1 領域分、 $45^\circ$  の領域 1404 と 1405 を形成する。配置は特に限定されるものではなく、1404 と 1405 の領域は隣り合っているとしても良いし、離れているとしても良い。その後、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$  と  $\text{SiO}_2$  の多層膜を形成する。構造のパラメータは図 12 で説明した値と同じとする。偏光子の最終層が積層されたのち、必要に応じて AR コートを施す。

次に、 $\lambda/4$  板アレイ 1406 について説明する。偏光子の 4 つの領域に対して 1 つの部分にのみ、 $x$  軸に平行な溝パターンを形成する。その後、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$  と  $\text{SiO}_2$  を交互に自己クローニング法により積層する。ここで面内の周期は  $0.30\ \mu\text{m}$ 、積層周期は  $0.36\ \mu\text{m}$  である。1 周期  $0.031\pi$  の位相差が得られるので、 $\lambda/4$  板の場合 16 周期積層すればよい。パターンがある部分 1406 が  $\lambda/4$  板となり、パターンのない部分 1407 には平坦な多層膜が積層されるので、位相差は生じない。このように 4 つの領域の 1 つにだけ、波長板を形成することができる。

このように作製した偏光子アレイと位相板アレイをそれぞれの膜面が合わせるように張り合わせる。ここで重要なのは偏光子の軸が  $45^\circ$  の領域の 1 つと、位相板アレイの  $\lambda/4$  板領域とが重なるようにする。たとえば、偏光子アレイを積層した基板と、波長板を形成した基板とを、顕微鏡で観測しながら接着剤で固定しても良い。

#### 【0029】

偏光子アレイと波長板とを一体化する際は、先に示したように、偏光子の最終層である  $\text{SiO}_2$  層を積層した後、スパッタエッチングもしくは機械的な研磨により表面を平坦化し、その後、再度リソグラフィで波長板を形成する部分にのみラインアンドスペースの凹凸パターンを形成する。パターンの位置合わせには、予め基板の一部に位置決め用のマーカーをつけておけばよい。その後、波長板を形成するための多層膜を積層すればよい。このようにして偏光子アレイと波長板を一体形成ができる。

更に、それぞれの偏光子領域を透過した光を独立に受光することのできる受光



素子アレイを設置する。受光素子はCCDでも良いし、半導体フォトダイオードでも、撮像管でもよい。図13の偏光モニターでは、位相差情報は計測することができなかったが、図14の偏光モニターでは可能である。被計測物体からの反射、透過光の位相変化を画像的に計測することにより、大きな面積の偏波解析をすることが可能になる。

### 【0030】

#### 【発明の効果】

本発明の構造からなる偏波制御素子アレイは、1枚の基板上に異なる光軸をもつ複数の偏光子あるいは波長板領域を、高性能で、任意の大きさ、形で形成することを可能としたものである。この構造で構成した偏光子、あるいは偏光子と波長板を組み合わせ、更に受光素子アレイと一体化することで、従来複雑であった偏光モニターを簡単な構造で構成し、1回の光ビームの分岐で偏光モニターすることが可能になる。アレイ化する素子のサイズを小さくし、数を増やすことで、偏光解析を画像処理で行なうことも可能になる。このような偏光モニターは、工業用途は広く、従来の偏光モニターを置きかえることが可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

- 【図1】 フォトニック結晶偏光制御素子本体の概念図
- 【図2】 図1に示すフォトニック結晶の伝搬特性を表わすバンド図
- 【図3】 従来の偏光解析装置の構成図
- 【図4】 4つの領域をもつ偏光子の説明図
- 【図5】 波長板、偏光子、受光素子を組み合わせた偏光モニターの構造図
- 【図6】 波長板、偏光子、受光素子を組み合わせた偏光モニターの構造図
- 【図7】 波長板、偏光子、受光素子を組み合わせた偏光モニターの構造図
- 【図8】 偏光モニターの光路への組みこみ方法の一例
- 【図9】 偏光モニターの光路への組みこみ方法の一例
- 【図10】 偏光モニターの光路への組みこみ方法の一例
- 【図11】 偏光モニターの光路への組みこみ方法の一例
- 【図12】 光学軸が3種類の微小偏光子アレイの構成図
- 【図13】 光学軸が3種類の微小偏光子アレイと受光素子アレイからなる

## 偏光モニターの一例

【図 14】 光学軸が 3 種類の微小偏光子アレイ、1/4 波長板、受光素子アレイからなる偏光モニターの一例

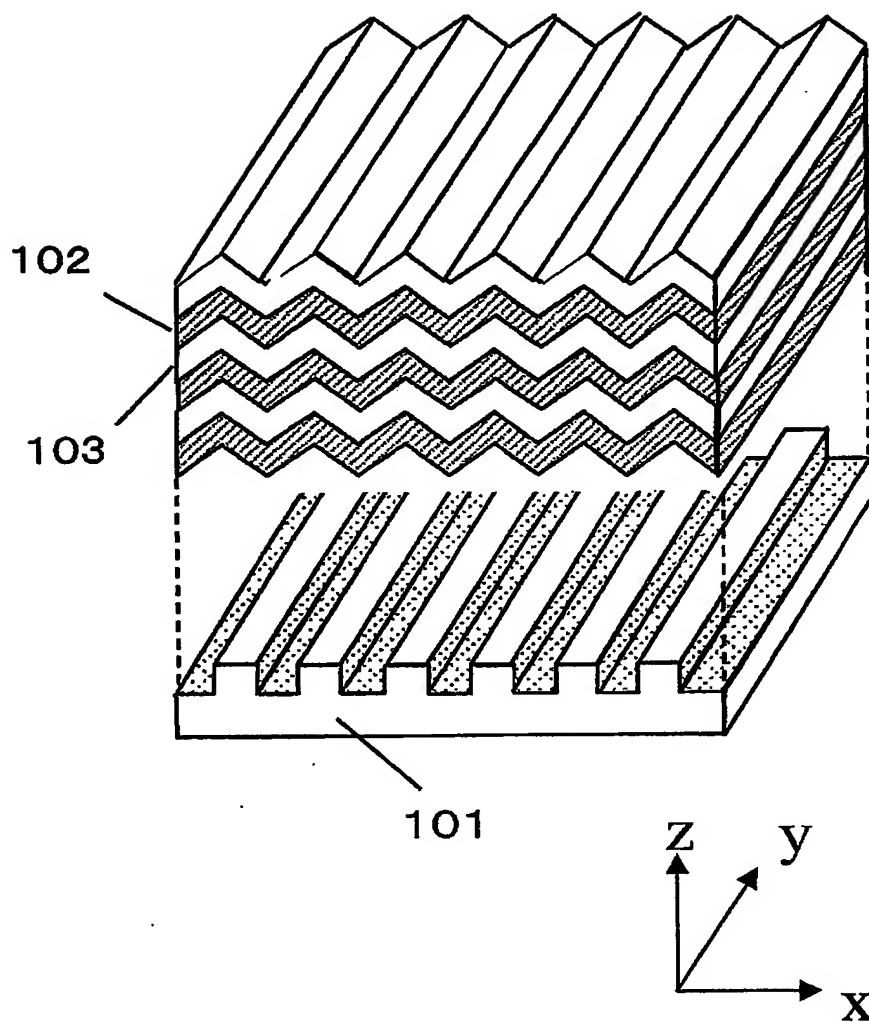
## 【符号の説明】

- 101 表面に溝列を加工した基板
- 102 高屈折率媒質
- 103 低屈折率媒質
- 201 TE 波を反射し、TM 波を透過させる偏光子の動作をする周波数領域
- 202 TE 波を透過し、TM 波を反射させる偏光子の動作をする周波数領域
- 203 TE 波も TM 波を透過させる波長板として動作する周波数領域
- 301 ビームスプリッター
- 302 偏光ビームスプリッター
- 303 偏光子
- 304 1/4 波長板
- 305 フォトディテクタ
- 401 偏光子アレイ
- 402 溝方向が x 軸に対し  $0^\circ$  の領域
- 403 溝方向が x 軸に対し  $90^\circ$  の領域
- 404 溝方向が x 軸に対し  $45^\circ$  の領域
- 405 溝方向が x 軸に対し  $45^\circ$  の領域
- 501 1/4 波長板としての動作する領域を一部に含む素子
- 502 光センサーアレイ
- 503 1/4 波長板動作する領域
- 504 位相差が生じない領域
- 601 偏光子を構成する多層膜
- 602 偏光子を構成する最終層
- 603 波長板を構成する多層膜
- 701 異方性結晶もしくは異方性フィルムからなる 1/4 波長板
- 801 光ビームスプリッタ

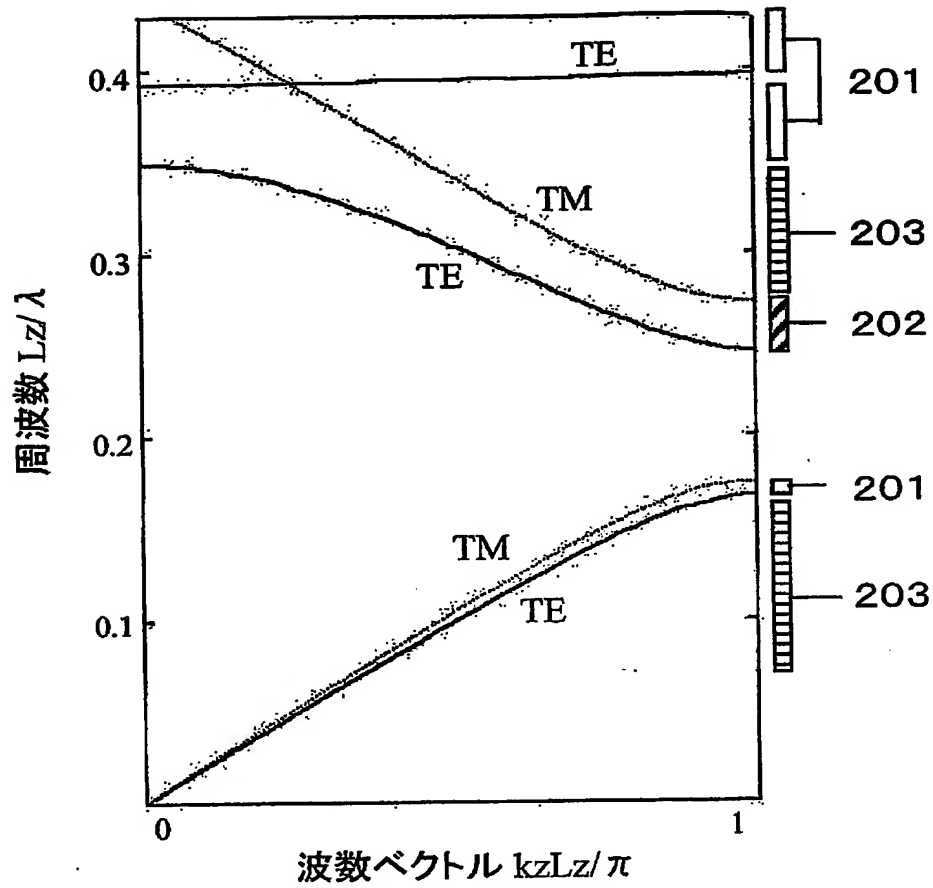
- 802 偏光モニター
- 901 ガラス基板
- 902 反射膜
- 1101 光ファイバ
- 1102 レンズ
- 1201 偏光子アレイ
- 1202 溝方向がx軸に対し $0^\circ$ の領域
- 1203 溝方向がx軸に対し $90^\circ$ の領域
- 1204 溝方向がx軸に対し $45^\circ$ の領域
- 1301 受光素子アレイ
- 1401 偏光子アレイ
- 1402 溝方向がx軸に対し $0^\circ$ の領域
- 1403 溝方向がx軸に対し $90^\circ$ の領域
- 1404 溝方向がx軸に対し $45^\circ$ の領域
- 1405 溝方向がx軸に対し $45^\circ$ の領域
- 1406  $1/4$ 波長板動作をする領域
- 1407 位相差が生じない領域

【書類名】 図面

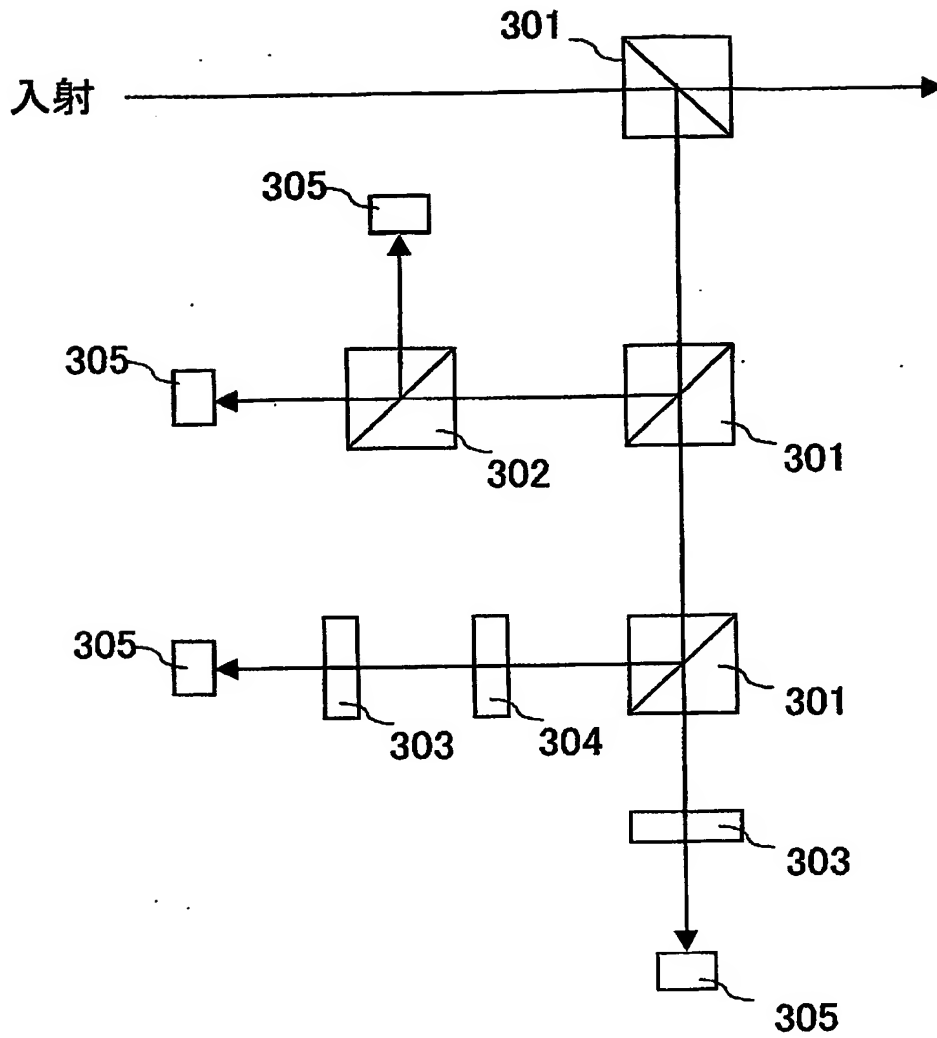
【図 1】



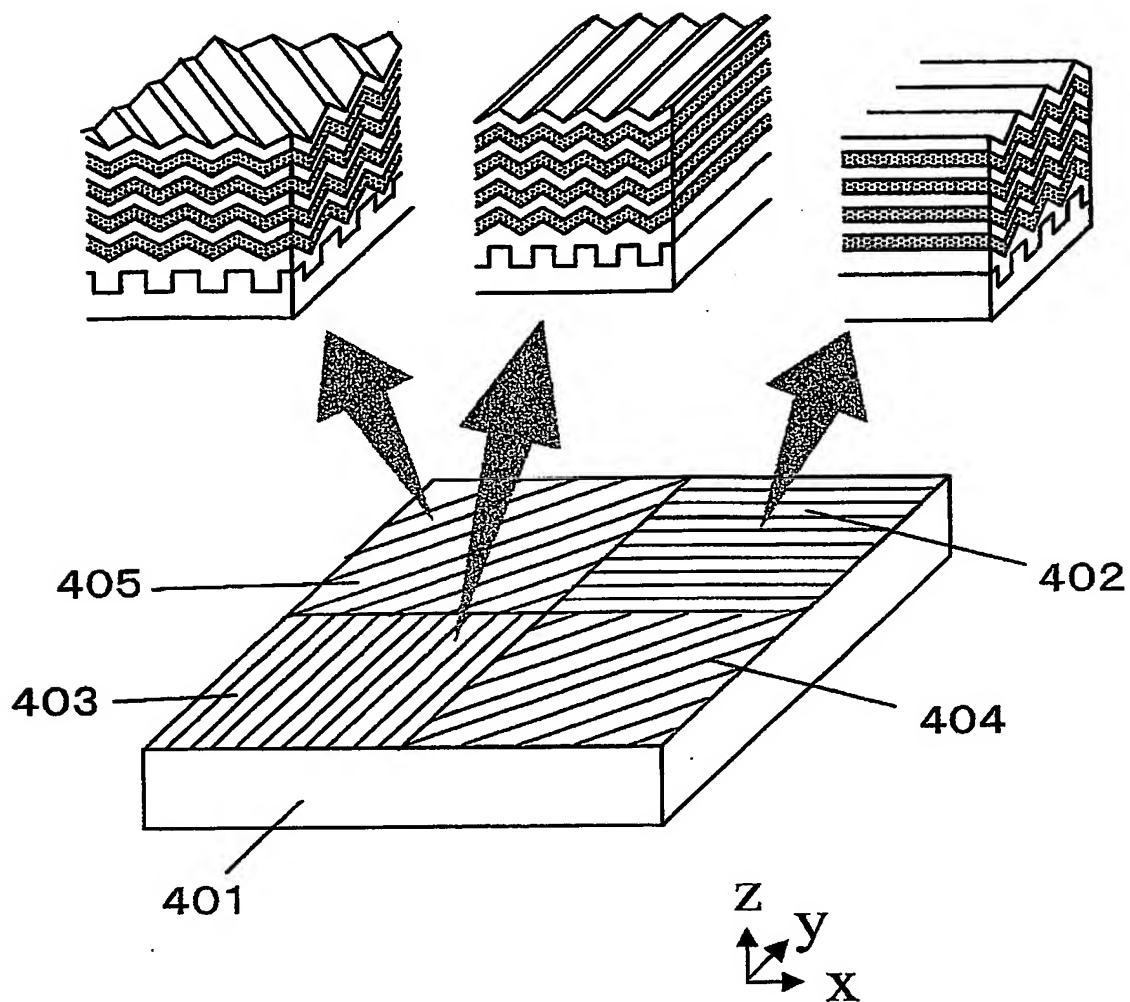
【図 2】



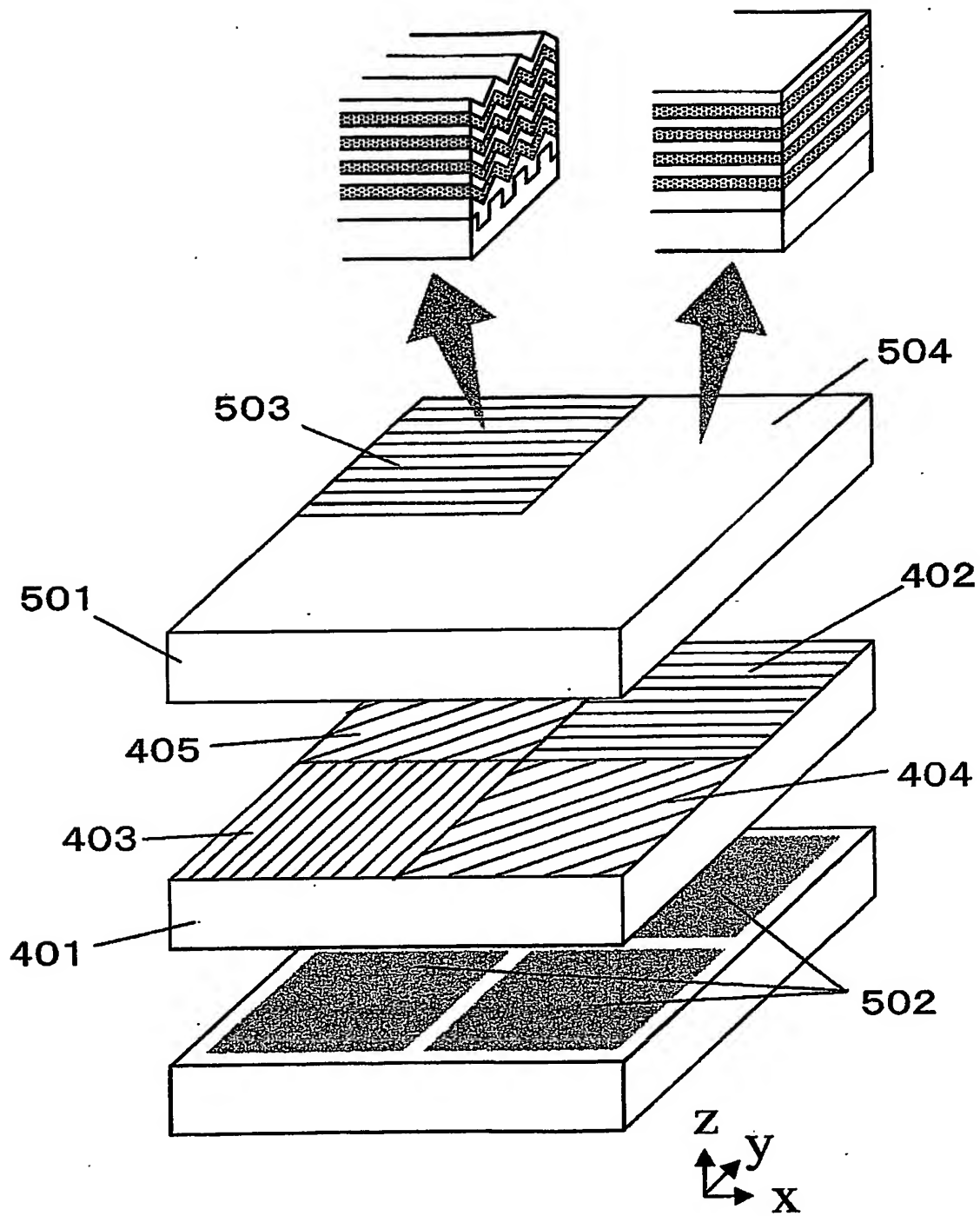
【図 3】



【図 4】

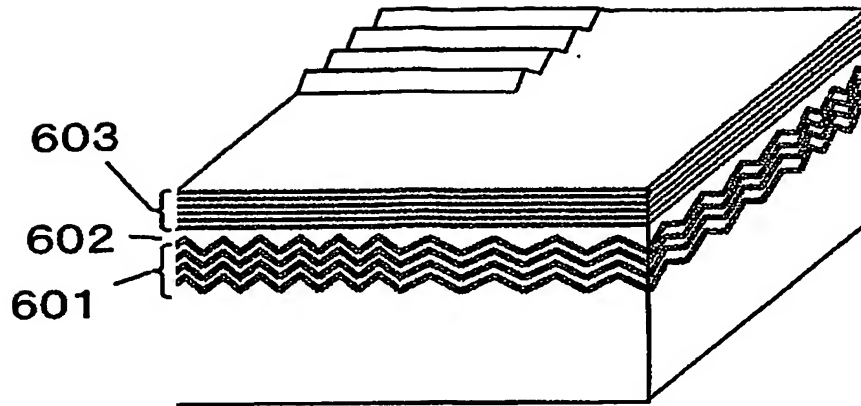


【図 5】

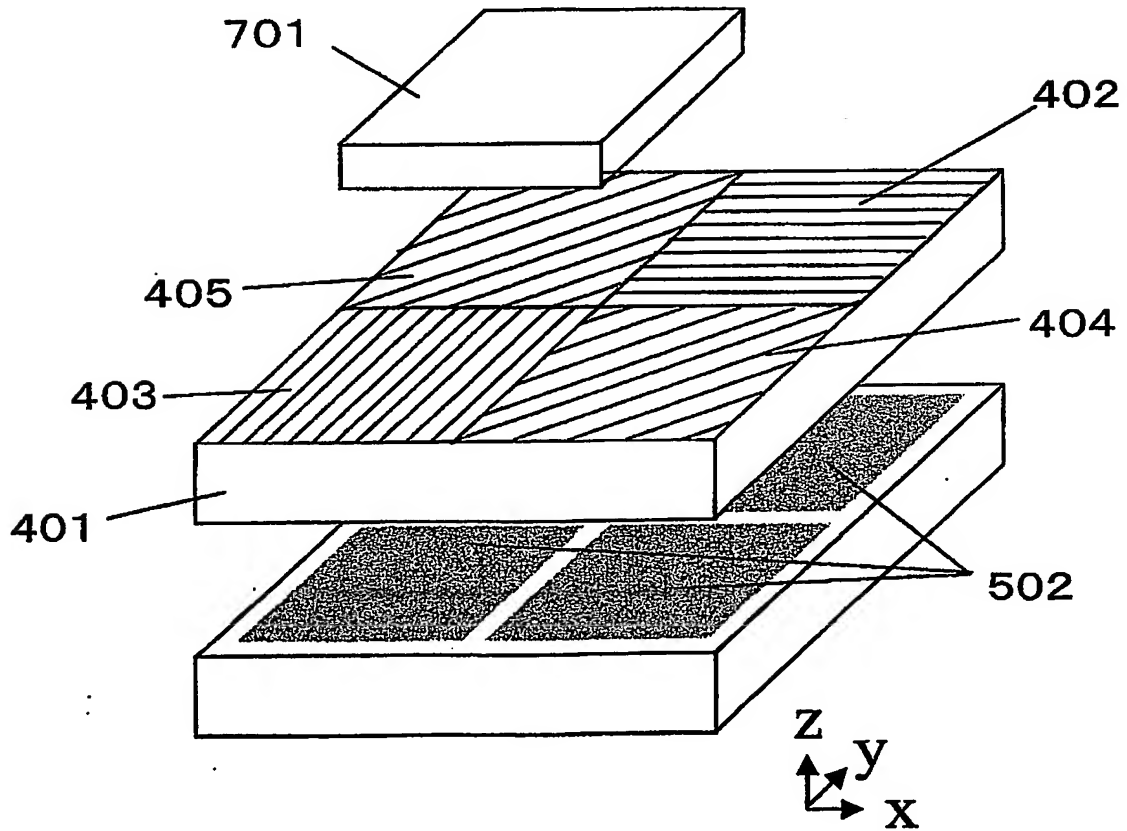




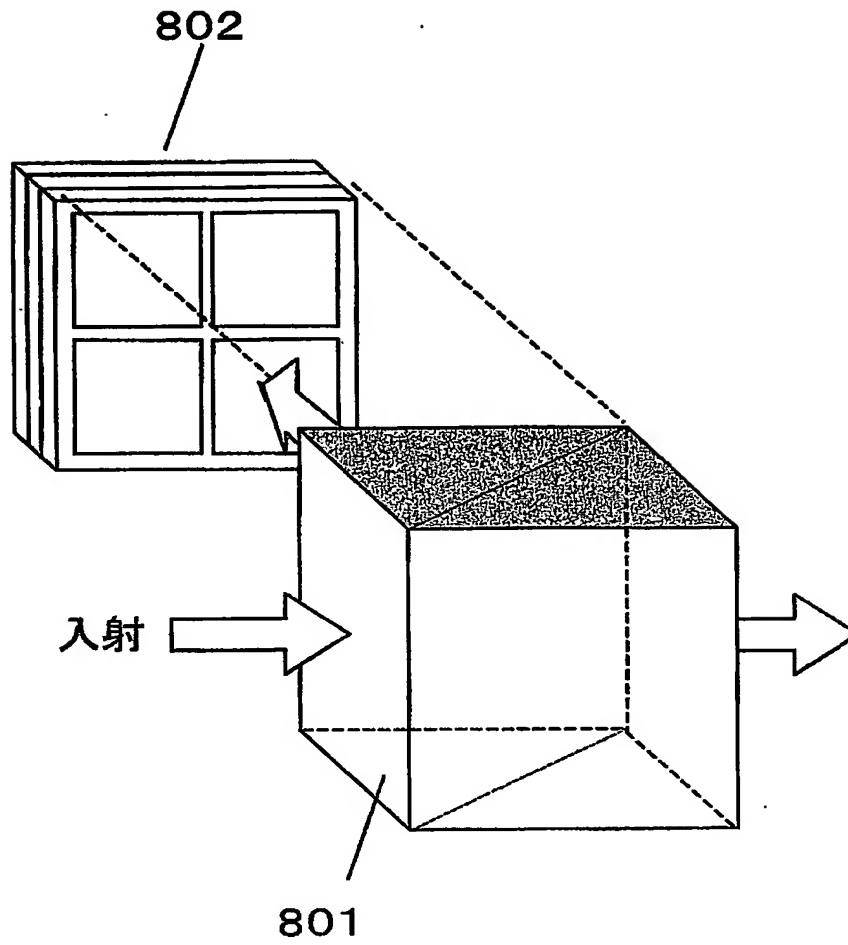
【図 6】



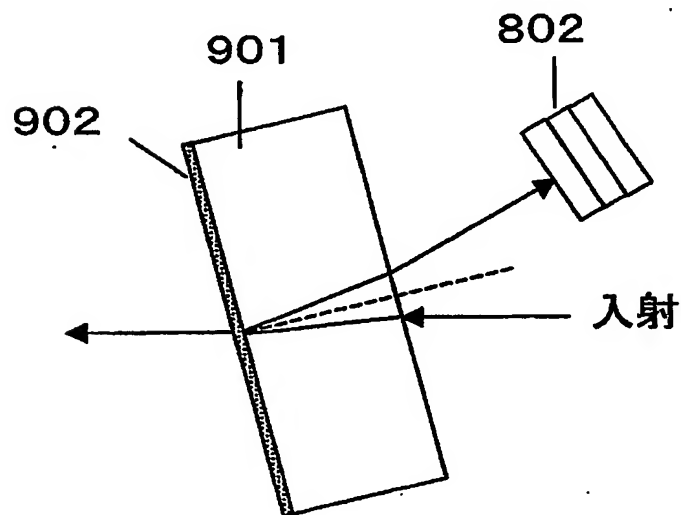
【図 7】



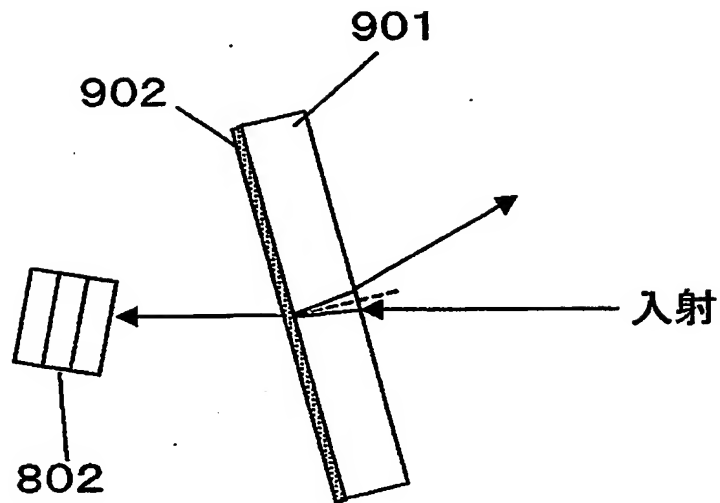
【図 8】



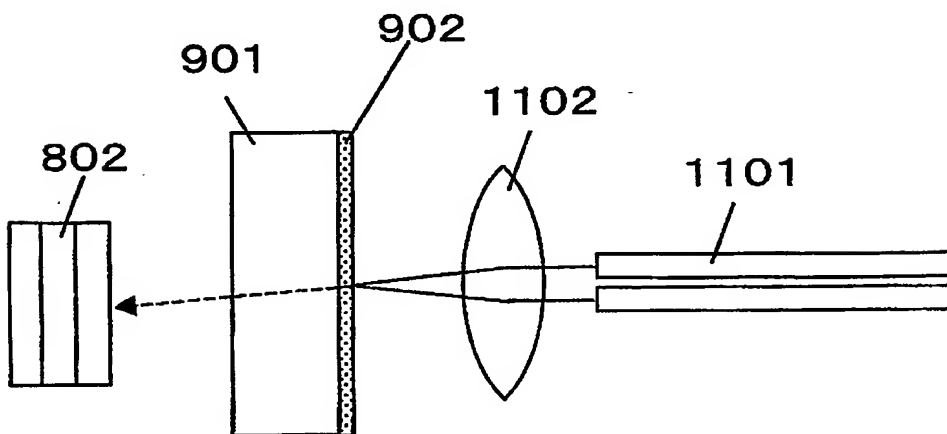
【図 9】



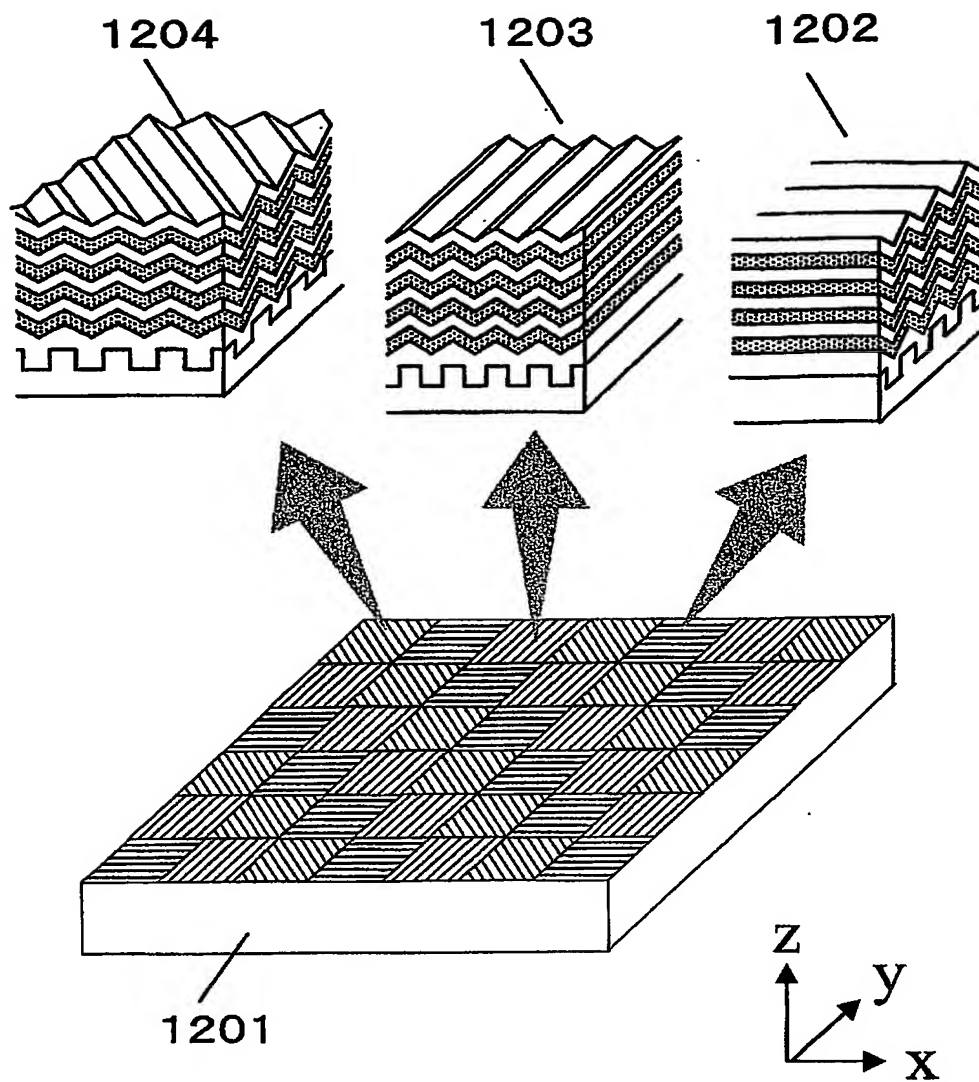
【図 10】



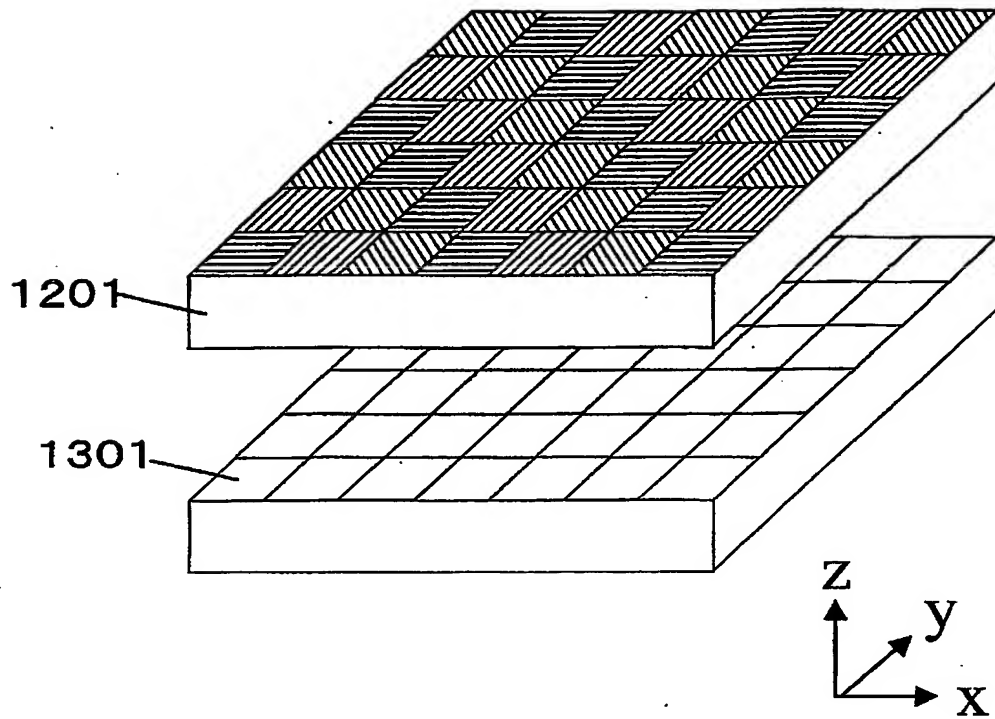
【図 11】



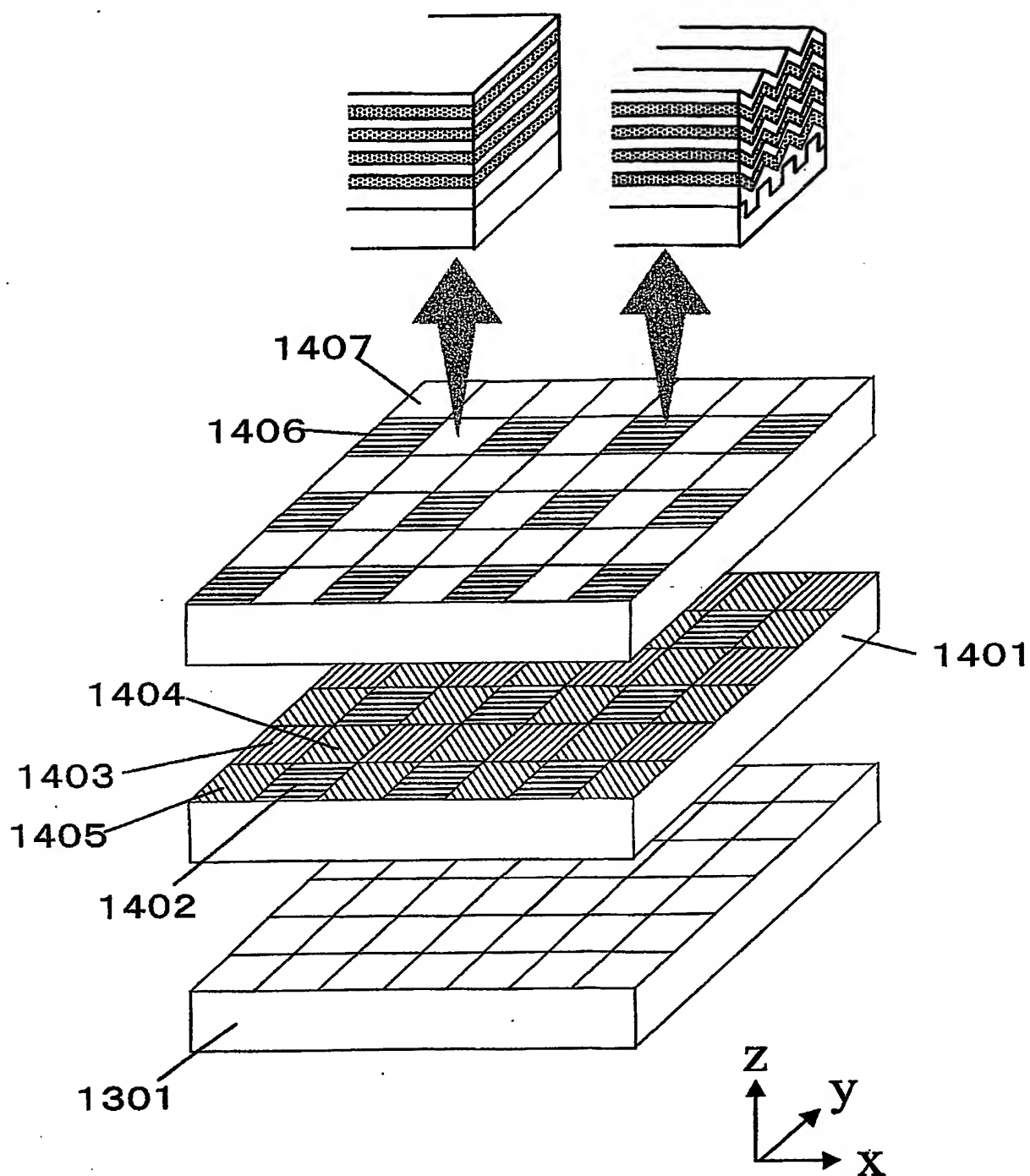
【図 12】



【図 13】



【図 14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光軸方向および波長特性の異なる微小領域からなる薄型の偏光子アレイおよび波長板アレイを高消光比かつ挿入損失で実現し、それを用いた偏光解析装置を提供する。

【解決手段】 基板上に、フォトリソグラフィーとドライエッチング法により微細な周期的な溝列を加工する。このとき、溝の方向を領域毎に、 $0^{\circ}$  方向、 $45^{\circ}$  方向、 $90^{\circ}$  方向の3種類に変え、網の目状に配置しておく。次にバイアススパッタ装置を用いて、Siあるいは $Ta_2O_5$ などの高屈折率材と $SiO_2$ のような低屈折率材の交互多層膜を積層してフォトニック結晶偏光子を形成する。このようにして、光軸方向の異なるフォトニック結晶偏光子をアレイ状に形成する。これを光受光素子アレイに搭載することにより、可動部分のない、部品点数の少ない簡単な構造の偏光モニターが構成できる。さらに高密度に各素子を配置することにより、高精度な偏光画像解析を行なうことができる。

【選択図】 図5

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-237212
受付番号	20201320229
書類名	特許願
担当官	小松 清 1905
作成日	平成14年 9月 2日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

【提出日】	平成14年 7月13日
【特許出願人】	申請人
【識別番号】	599042599
【住所又は居所】	宮城県仙台市若林区土樋 236 番地 C9
【氏名又は名称】	有限会社オートクロニング・テクノロジー

次頁無



特願 2002-237212

出願人履歴情報

識別番号

[599042599]

1. 変更年月日

1999年 3月30日

[変更理由]

新規登録

住 所

宮城県仙台市若林区土樋236番地C9

氏 名

有限会社オートクローニング・テクノロジー

2. 変更年月日

2002年12月26日

[変更理由]

住所変更

住 所

宮城県仙台市若林区新寺3-5-12-1104

氏 名

有限会社オートクローニング・テクノロジー